

【発明の名称】

可変光フィルタおよびそれを用いた光伝送システム、並びに、可変光フィルタの制御方法

【発明の背景】

(1) 発明が属する分野

本発明は、透過率が光周波数軸上で周期的に変化する可変光フィルタの制御技術に関し、特に、光伝送路や光増幅器等の波長（または光周波数）依存性によるチルトをその変動に追従して補償するのに好適な可変光フィルタおよびそれを用いた光伝送システム、並びに、可変光フィルタの制御方法に関する。

(2) 関連技術

従来、光ファイバ伝送路および光増幅中継器を接続した光増幅中継伝送路を介して波長多重（WDM）信号光を伝送する波長多重光伝送システムにおいて、光増幅中継器の利得の波長（または光周波数）依存性等に起因する信号光レベルの偏差を、可変の透過特性を有する光フィルタ（以下、可変光フィルタとする）を利用して補償することが知られている。

上記のような補償に利用される可変光フィルタとしては、例えば、透過率が光周波数軸上で周期的に変化する周期フィルタを単独に使用したものや、互いに周期の異なる複数の周期フィルタを直列に接続し、フーリエ級数展開の原理に基づいて光周波数軸上に所望の形状のフィルタ特性を合成するようにしたものなどが公知である（例えば、特開平6-276154号公報、特開平9-244079号公報、特開平9-289349号公報、特開2000-199880号公報参照）。このような周期的なフィルタ特性を有する可変光フィルタは、要求されるフィルタ特性の変動に応じて可変のフィルタ特性が制御されることにより、信号光レベルの偏差を広い範囲に亘って補償することができる。

ところで、上記のような周期的なフィルタ特性を有する従来の可変光フィルタについては、要求されるフィルタ特性が光周波数軸方向に微小に変動し続けた場合、変動の範囲がフィルタ特性の可変範囲内であれば、変動の都度フィルタ特性を微小に変化させることにより、要求されるフィルタ特性に追従することが可能

である。しかしながら、変動の範囲がフィルタ特性の可変範囲を超えてしまうと、その時点での変動量がたとえ微小であったとしても、要求に対してフィルタ特性を連続的に変化させることができなくなる。

このような状況において要求に応えるためには、例えば、周期的なフィルタ特性を少なくとも1周期分、要求された変化方向とは逆向きに引き戻す制御が必要となる。この場合、制御の前後におけるフィルタ特性の変化が僅かであっても、制御の途中でフィルタ特性を大きく変動させなければならないときがあるため、補償の対象となる光周波数帯の全域で光強度が大きく変動してしまう可能性があり問題となる。

ここで、上記の問題点について図9および図10を用いて具体的に説明する。なお、以下の説明においては、可変光フィルタの周期的なフィルタ特性について、減衰量が極大になる1つの減衰ピークに着目して、これを基準ピーク P_{ref} とする。そして、周期的なフィルタ特性の光周波数軸方向への可変範囲を、上記基準ピーク P_{ref} の可変範囲 R として記述することにする。

例えば、図9の最上段に示す状態Aが可変光フィルタの初期状態であったとき、そのフィルタ特性に対して連続的に微小量ずつ光周波数軸方向の高周波数側に平行移動させることが要求される場合を考える。この場合、可変のフィルタ特性は、状態Aから状態Bおよび状態Cを経由して状態Dまでは追従可能である。しかしながら、図9の最下段に示す状態Eに変化することが要求された場合には、たとえば状態Dのフィルタ特性と状態Eのフィルタ特性との差が微小量であっても、そのフィルタ特性の変化は図中の点線で示す可変範囲 R を超えるため、状態Dにおける基準ピーク P_{ref} が連続的に位置 α に移動することはできない。このため、フィルタ特性を状態Dから状態Eに変化させるためには、基準ピーク P_{ref} を位置 β に移動させなければならない。

上記のように基準ピーク P_{ref} を位置 β に移動させることでフィルタ特性を状態Dから状態Eに変化させるときの動作は、さらに詳しくは、例えば図10に示すようにフィルタ特性を状態Fから状態Gを経由して状態Hに変化させる場合、または、状態Fから状態Iを経由して状態Hに変化させる場合を考えることが可能である。

フィルタ特性を状態Gを経由して変化させた場合には、基準ピークP_{ref}が本来ピーク特性を要求されていない領域を横切ることになるため、変化の途中におけるフィルタ特性に要求されていない大きな変動が起こってしまう。

一方、状態Iに示すようにフィルタ特性を光周波数に対して平坦な透過状態とし、この状態Iを維持したまま基準ピークP_{ref}を状態Hの基準ピークP_{ref}の位置まで移動させた後に、可変光フィルタの減衰量を増大させた場合には、フィルタ特性が状態Iに維持されている間、本来要求のあったピーク特性が補償対象の光周波数帯全域で一旦消滅するため、フィルタ特性に要求されていない大きな変動が起こってしまう。

【発明の概要】

本発明は上記の問題点に着目してなされたもので、光強度の実質的な変動を伴うことなく、周期的なフィルタ特性を光周波数軸方向に広範囲に亘って平行移動することのできる可変光フィルタおよびそれを用いた光伝送システム、並びに、可変光フィルタの制御方法を提供することを目的とする。

上記の目的を達成するため、本発明に係る可変光フィルタは、互いに直列に接続され、透過率が光周波数軸上で周期的に変化するフィルタ特性をそれぞれ有し、該フィルタ特性の透過率が可変であると共に、前記フィルタ特性を光周波数軸方向に平行移動させることが可能であり、かつ、共通な光周波数軸方向の可変範囲について同一のフィルタ特性を設定することが可能な第1および第2フィルタ部と、該第1および第2フィルタ部の一方について、光周波数軸方向の可変範囲を超えてフィルタ特性を平行移動させる必要が生じたとき、前記第1および第2フィルタ部を組み合わせた全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、一方のフィルタ部から他方のフィルタ部への切り替えが行われるように、前記第1および第2フィルタ部の各フィルタ特性を相対的に制御する制御部と、を備えて構成されたことを特徴とする。

かかる構成の可変光フィルタでは、可変のフィルタ特性を光周波数軸方向に平行移動させる場合に、第1および第2フィルタ部の一方について可変範囲を超えるような変化が必要となったとき、各フィルタ部の特性を組み合わせた全体のフ

フィルタ特性が一定となるようにして、一方のフィルタ部から他方のフィルタ部への切り替えが行われることで、各フィルタ部を通過した光の強度を殆ど変動させることなく、可変光フィルタ全体のフィルタ特性を光周波数軸方向に連続的に平行移動させることが可能になる。

上記制御部の具体的な一つの態様としては、前記第1フィルタ部のフィルタ特性が光周波数に対して平坦であって最大の透過率が得られる透過状態にあり、前記第2フィルタ部のフィルタ特性によって全体のフィルタ特性が決まる状態にあるとき、前記第2フィルタ部に関する光周波数軸方向への平行移動の状態が可変範囲の境界に達する以前に、前記第1および第2フィルタ部を組み合わせた全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、前記第1フィルタ部の透過率の振幅を連続的に減少させ、かつ、第2フィルタ部の透過率の振幅を連続的に増大させることで、第2フィルタ部から第1フィルタ部への切り替えを行うようにしてもよい。このような制御部によれば、第1および第2フィルタ部についての透過率の振幅を相対的に増減させることによって、全体のフィルタ特性を一定に保ちながら第2フィルタ部から第1フィルタ部への切り替えが行われるようになる。

また、前述した可変光フィルタについては、前記第1および第2フィルタ部で生じる損失を補償するための光増幅部を備えるようにしてもよい。かかる構成によれば、可変光フィルタの挿入損失の低減を図ることが可能になる。

本発明に係る光伝送システムは、光伝送路上に配置された光増幅器により波長多重信号光を一括して増幅すると共に、該波長多重信号光に発生するチルトを少なくとも1つの利得等化器により補償して中継伝送する光伝送システムであって、前記利得等化器が、上述したような本発明の可変光フィルタを含むことを特徴とする。かかる構成の光伝送システムでは、光伝送路や光増幅器等の波長（または光周波数）依存性によって波長多重信号光に発生するチルトが、本発明の可変光フィルタを用いた利得等化器によって補償されるようになる。この際、信号光に生じるチルトが変動しても、その変動に追従して可変光フィルタの特性が広い波長範囲に亘って連続的に制御可能であるため、中継伝送される信号光の光強度が可変光フィルタの制御に起因して大きく変動してしまうような状況が回避されるようになる。

なお、この発明の他の目的、特徴及び利点は、添付図面に関連する実施態様についての次の説明で明白になるであろう。

【図面の簡単な説明】

図１は、本発明の一実施形態による可変光フィルタの構成を示すブロック図である。

図２は、同上実施形態において第１、第２フィルタ部として用いることが可能なマッハツェンダ干渉計型フィルタの基本構成を示す平面図である。

図３は、同上実施形態における第１、第２フィルタ部および光路についての具体的な構成の一例を示す図である。

図４は、同上実施形態における制御部の動作を説明するための図である。

図５は、同上実施形態の第１、第２フィルタ部について複数の周期フィルタの組み合わせにより構成したときのフィルタ特性を説明するための図である。

図６は、同上実施形態に関連する可変光フィルタの他の構成例を示すブロック図である。

図７は、本発明の一実施形態による光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図８は、同上実施形態に関連する光伝送システムの他の構成例を示すブロック図である。

図９は、従来の可変光フィルタについて、周期的なフィルタ特性を光周波数軸方向に平行移動させたときの様子を示す図である。

図１０は、従来の可変光フィルタの問題点を説明するための図である。

【発明の詳細な説明】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図１は、本発明の一実施形態による可変光フィルタの構成を示すブロック図である。

図１において、本可変光フィルタ１は、例えば、第１フィルタ部１１、第２フィルタ部１２、光路１３および制御部１４を有し、第１フィルタ部１１と第２フ

フィルタ部12が、入力端子INおよび出力端子OUTの間に光路13を介して直列に接続され、各フィルタ部11、12のフィルタ特性が制御部14によって制御される構成である。

第1フィルタ部11および第2フィルタ部12は、透過率が光周波数軸上で周期的に変化するフィルタ特性をそれぞれ有する。第1、第2フィルタ部11、12の各々の周期的なフィルタ特性は、透過率（振幅）が可変であり、かつ、光周波数軸方向の所要の範囲（可変範囲）内で平行移動させることが可能であって、各々に共通の可変範囲内では同一の特性に設定することができるものとする。

第1、第2フィルタ部11、12の具体的な構成としては、例えば、単一の周期フィルタを利用した構成や、互いに異なる周期を持つ複数の周期フィルタを直列に接続して所望の形状のフィルタ特性を実現した構成などを適用することが可能である。可変のフィルタ特性を持つ周期フィルタの具体例としては、上述の特許文献1等に記載されたマッハツェンダ干渉計型フィルタや、磁気光学結晶の入出射面に反射膜を形成したエタロン型フィルタ（例えば、特願2002-146643号）等を挙げることができる。

上記のマッハツェンダ干渉計型フィルタは、例えば図2に示すような基本構成を有する。すなわち、図2のマッハツェンダ干渉計型フィルタは、長さの異なる2本の光導波路21、22の入力側および出力側をそれぞれ方向性結合器23、24で接続した構成を有し、方向性結合器23、24に設けられた電極25、26へのバイアス電流を調整することで結合効率を変化させてフィルタの振幅を変化させることが可能であり、また、方向性結合器23、24間の光導波路21上に設けられた電極27へのバイアス電流を調整することでフィルタの位相を変化させることが可能である。

上記のエタロン型フィルタは、ファラデー回転子などの磁気光学効果を利用した偏光可変制御器の入出射面に反射膜を形成してエタロン型の光フィルタを構成したものであって、そのファラデー回転角を制御することで透過率（または損失）を変化させることが可能となる。また、ファラデー回転子をくさび型の一對の可動な磁気光学結晶で構成し、エタロンの共振器長を制御することで、光周波数軸上での透過特性を制御することも可能となる。

光路13（図1）は、本可変光フィルタ1の入力端子INおよび第1フィルタ部11の入力端子の間と、第1フィルタ部11の出力端子および第2フィルタ部12の入力端子の間と、第2フィルタ部12の入力端子および可変光フィルタ1の出力端子OUTの間とを、例えば光ファイバや光導波路等を用いてそれぞれ接続するものである。

図3は、第1、第2フィルタ部11、12および光路13についての具体的な構成の一例を示した平面図である。

図3の構成例では、前述の図2に示したような基本構成を有する4つのマッハツェンダ干渉計型フィルタを直列接続して1チップ化した光フィルタが、第1、第2フィルタ部11、12としてそれぞれ使用される。ここでは、第1フィルタ部11の4段目のマッハツェンダ干渉計型フィルタの出力端と第2フィルタ部12の1段目のマッハツェンダ干渉計型フィルタの入力端との間が、光ファイバ13により接続される。また、第1フィルタ部11の1段目のマッハツェンダ干渉計型フィルタの入力端には入力端子INが接続され、第2フィルタ部12の4段目のマッハツェンダ干渉計型フィルタの出力端には出力端子OUTが接続される。

第1、第2フィルタ部11、12を構成する各段のマッハツェンダ干渉計型フィルタは、ここでは例えば図中の点線で囲んだA部の拡大図に示すように、入力側および出力側の各方向性結合器、並びに、各方向性結合器の間に位置する2本の光導波路上にそれぞれ設けられた薄膜ヒータ等の電極に対して、図の下段に例示したような駆動装置で発生するバイアス電流が与えられることにより駆動される。この駆動装置は、例えば、後述する制御部14から出力される制御信号をコントローラで受け、該制御信号に従ってコントローラから出力される信号をD/Aコンバータを介して可変電源に送ることで各電極に与えるバイアス電流をそれぞれ調整する。なお、各電極に対応して設けられた電流計および電圧計は、各々の電極の実際の駆動状態をモニタするためのものであって、それぞれのモニタ結果を示す信号がA/Dコンバータを介してコントローラにフィードバックされる。

なお、ここでは、第1、第2フィルタ部11、12を個別に形成して各々の間を光路13で接続する構成例を示したが、例えば、第1、第2フィルタ部11、12を一体化して単一デバイスとすることも可能である。また、周期の異なる複

数の周期フィルタ（上記の例では、4段のマッハツェンダ干渉計型フィルタ）の組み合わせによって得られる、第1、第2フィルタ部の具体的なフィルタ特性については後述することにする。

制御部14は、可変範囲を超えてフィルタ特性を光周波数軸方向に平行移動させる要求が発生したときにでも、フィルタ特性の変更中に出力端子のUTから出力される光の強度が変動しないように、第1、第2フィルタ部11、12の可変のフィルタ特性を制御するものである。

ここで、制御部14によって第1、第2フィルタ部11、12のフィルタ特性を制御する具体的な手順について、図4を参照しながら詳しく説明する。ただし、ここでは説明を簡単にするために、第1、第2フィルタ部11、12には単一の周期フィルタがそれぞれ使用されるものとする。

まず、本可変光フィルタ1の初期状態においては、例えば図4の状態Jに示すように、要求されるフィルタ特性が第2フィルタ部12のみを使用して実現されるように、第1、第2フィルタ部11、12のフィルタ特性が制御部14によって制御される。具体的には、要求されるフィルタ特性に対応させて第2フィルタ部12の周期的なフィルタ特性の振幅および位相が制御され、第1フィルタ部11については、光周波数に対して平坦であって最小の減衰量（または最大の透過率）が得られる状態（以下、透過状態とする）が実現されるように制御される。これにより、各光フィルタ部11、12の特性を合成した可変光フィルタ1全体のフィルタ特性は、第2フィルタ部12の周期的なフィルタ特性に対応したものとなる。

上記のような初期状態において、第2フィルタ部12の減衰量が極大になる1つの減衰ピークを基準ピークPrefとして着目し、この基準ピークPrefが光周波数軸上で平行移動可能な範囲を可変範囲Rとする。そして、基準ピークPrefが可変範囲Rの低周波側または高周波側の境界近傍に位置する場合には、第2フィルタ部12のフィルタ特性の低周波側または高周波側への平行移動が限界に近づいているとして、第2フィルタ部12から第1フィルタ部11への切り替え制御が行われる。

上記の切り替え制御は、具体的には、可変光フィルタ1全体のフィルタ特性が

常に一定となることを条件として、第1フィルタ部11の減衰量の振幅を連続的に増大（または透過率の振幅を連続的に減少）させ、かつ、第2フィルタ部12の減衰量の振幅を連続的に減少（または透過率の振幅を連続的に増大）させることにより行われる。このとき、第1フィルタ部11については、基準ピーク P_{ref} の光周波数軸上の位置が可変範囲Rの中央付近となるように、周期的なフィルタ特性の位相を制御することが望ましい。

図4に示す状態K～Nは、上記のような一連の切り替え制御における第1、第2フィルタ部11、12および可変光フィルタ1全体の各特性を段階的に例示したものである。このように、状態K、状態Lおよび状態Mを経由して状態Nに達することにより、状態K～Nの各段階において可変光フィルタ1全体のフィルタ特性が一定に維持されながら、第2フィルタ部12から第1フィルタ部11への切り替えが行われる。そして、状態Nに達した後は、第1フィルタ部11のみを使用して要求されるフィルタ特性が実現され、第2フィルタ部12については透過状態とされる。

さらに、図示しないが第1フィルタ部11の周期的なフィルタ特性が光周波数軸上で平行移動されて、基準ピーク P_{ref} が可変範囲Rの境界近傍に位置するようになると、前述した第2フィルタ部12から第1フィルタ部11への切り替え制御とは逆の手順に従って、第1フィルタ部11から第2フィルタ部12への切り替え制御が行われる。具体的には、第2フィルタ部12が透過状態にあるときに、第2フィルタ部12の基準ピーク P_{ref} の位置が可変範囲Rの中央付近となるように位相を制御した上で、可変光フィルタ1全体のフィルタ特性が常に一定となることを条件として、第1フィルタ部11の減衰量の振幅を連続的に減少させ、かつ、第2フィルタ部12の減衰量の振幅を連続的に増大させる制御が制御部14によって行われる。

上記のようにして、要求されるフィルタ特性の実現を担う一方のフィルタ部の基準ピーク P_{ref} が可変範囲Rの境界近傍に位置するようになると、その役割を他方のフィルタ部に切り替える制御が繰り返されることにより、可変光フィルタ1全体のフィルタ特性を光周波数軸方向に連続的に平行移動させることが可能になる。

次に、第1、第2フィルタ部11、12について、複数の周期フィルタの組み合わせを適用した場合に得られるフィルタ特性を説明する。

一般に、フーリエ級数展開法より明らかなように、互いに異なる周期を有する複数の正弦波を重ねることによって任意の形状のフィルタ特性が実現可能になるという原理に基に、自由スペクトル領域(FSR)の異なる複数の周期フィルタを直列に接続することで、所望の光周波数特性を持つ光フィルタが実現されることが知られている。

具体的に、例えば図5の上段に示すような伝送路や光増幅器等の波長(または光周波数)依存性によるチルト $f(\lambda)$ について、それを補償するための光フィルタをN段の周期フィルタの組み合わせにより実現することを考える。この場合、補償の対象となるチルト $f(\lambda)$ の波長帯域に応じて決定される基本周期に対して、組み合わせられるN段の周期フィルタのFSRが $1/n$ 倍(ただし、 n は整数とする)の条件を満たすように設定されると共に、チルト $f(\lambda)$ をフーリエ級数展開した結果に応じて各々の周期フィルタの振幅が設定される。このようにしてFSRおよび振幅の設定されたN段の周期フィルタを合成することによって、図5の中段に示すようなチルト $f(\lambda)$ とは逆の特性 $f^{-1}(\lambda)$ を持つ光フィルタが構成されるようになる。この光フィルタを用いてチルト $f(\lambda)$ の補償を行うことで、図5の下段に示すような平坦な波長特性が実現されることになる。

したがって、第1、第2フィルタ部11、12を上記のような複数の周期フィルタの組み合わせによって構成した場合、各周期フィルタとして前述の図2に示したようなマッハツェンダ干渉計型フィルタを用い、各々の可変のフィルタ特性を前述したような手順に従って制御部14により制御することによって、可変光フィルタ1の所望のフィルタ特性を光周波数軸方向に連続的に平行移動させることが可能になる。

なお、上記の実施形態では、要求されるフィルタ特性の実現を担うフィルタ部の基準ピーク P_{ref} が可変範囲Rの境界近傍に位置するたびに、第1、第2フィルタ部11、12の各々の役割を切り替えるようにしたが、本発明はこれに限らず、例えば、通常の逆用時は第1フィルタ部11を透過状態として、第2フィルタ部12が要求されるフィルタ特性の実現を担うようにすることも可能である。

つまり、第2フィルタ部2の基準ピーク P_{ref} が光周波数軸方向の可変範囲 R の境界近傍に位置したとき、前述した制御手順と同様にして、第2フィルタ部12を透過状態とし第1フィルタ部11により要求されるフィルタ特性を実現した後、第2フィルタ部12の基準ピーク P_{ref} の位置を可変範囲 R の中央付近に移す。そして、その直後に再び第1、第2フィルタ部11、12の役割を切り替えて第2フィルタ部12により要求されるフィルタ特性を実現するようにしてもよい。

また、第1、第2フィルタ部11、12の間を光路13により直接接続するようにしたが、例えば図6の可変フィルタ1'に示すように、第1、第2フィルタ部11、12の間に光増幅器15を設けるようにして挿入損失を補償する応用も有効である。なお、光増幅器15の配置は、第1、第2フィルタ部11、12の間に限定されるものではなく、第1フィルタ部11の前段や第2フィルタ部12の後段に配置するようにしてもよい。

次に、上述したような可変光フィルタ1を用いて構成したWDM光伝送システムについて説明する。

図7は、上記WDM光伝送システムの一実施形態の構成を示すブロック図である。

図7に示すWDM光伝送システムは、例えば、WDM信号光を送受信する光送信装置51および光受信装置52の間を光伝送路53で接続すると共に、該光伝送路53上に所要の間隔で光増幅器54を配置してWDM信号光を中継伝送する公知のシステム構成について、所要の中継区間数ごと（図では2つの中継区間ごと）に上述した可変光フィルタ1を適用した利得等化器を配置したものである。なお、各可変光フィルタ1の出力端に接続された光増幅器54'は、可変光フィルタ1の挿入損失を補償するためのものであって、この光増幅器54'は、前述の図6に例示したように可変光フィルタ1内の第1、第2フィルタ部11、12の間や、可変光フィルタ1の入力端に接続するようにしてもよい。

上記のようなWDM光伝送システムでは、各々の中継区間の光伝送路53や光増幅器54等の波長依存性によるチルトの補償が各可変光フィルタ1によって2中継区間ごとに行われる。このとき、温度変化や経時劣化等の様々な要因により信号光に発生するチルトが変動しても、その変動に追随して可変光フィルタ1の

特性を広範囲に亘って連続的に制御することができるため、中継伝送されるWDM信号光の強度が可変光フィルタ1の制御に起因して大きく変動してしまうような状況が回避されるようになる。これにより、光送信装置51と光受信装置52の間でWDM信号光を安定して中継伝送することが可能になる。

なお、上記WDM光伝送システムの実施形態では、2つの中継区間ごとに本発明の可変光フィルタ1を適用した利得等化器が配置されるようにしたが、各中継区間に対応させて、または、3つ以上の中継区間ごとに利得等化器を配置してチルト補償を行うようにしてもよい。

また、例えば図8に示すように、可変光フィルタ1の第1、第2フィルタ部11, 12を異なる中継区間に分けて配置し、各フィルタ部11, 12に対して上述したような制御部14による制御を適用することも可能である。このようなシステム構成によれば、例えば既存のシステムの各補償ノードに利得等化器として配置された各々の可変光フィルタうちの2台の一組として本発明を適用することもできるようになるため、挿入損失の増大やコストの上昇を招くことなく、可変光フィルタの特性を光周波数軸方向へ連続的に平行移動させることが可能になる。

【クレーム】

1. 互いに直列に接続され、透過率が光周波数軸上で周期的に変化するフィルタ特性をそれぞれ有し、該フィルタ特性の透過率が可変であると共に、前記フィルタ特性を光周波数軸方向に平行移動させることが可能であり、かつ、共通な光周波数軸方向の可変範囲について同一のフィルタ特性を設定することが可能な第1および第2フィルタ部と、

該第1および第2フィルタ部の一方について、光周波数軸方向の可変範囲を超えてフィルタ特性を平行移動させる必要が生じたとき、前記第1および第2フィルタ部を組み合わせた全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、一方のフィルタ部から他方のフィルタ部への切り替えが行われるように、前記第1および第2フィルタ部の各フィルタ特性を相対的に制御する制御部と、

を備えて構成されたことを特徴とする可変光フィルタ。

2. クレーム1に記載の可変光フィルタであって、

前記制御部は、前記第1フィルタ部のフィルタ特性が光周波数に対して平坦であって最大の透過率が得られる透過状態にあり、前記第2フィルタ部のフィルタ特性によって全体のフィルタ特性が決まる状態にあるとき、前記第2フィルタ部に関する光周波数軸方向への平行移動の状態が可変範囲の境界に達する以前に、前記第1および第2フィルタ部を組み合わせた全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、前記第1フィルタ部の透過率の振幅を連続的に減少させ、かつ、第2フィルタ部の透過率の振幅を連続的に増大させることで、第2フィルタ部から第1フィルタ部への切り替えを行うことを特徴とする可変光フィルタ。

3. クレーム2に記載の可変光フィルタであって、

前記制御部は、前記第2フィルタ部から第1フィルタ部への切り替えを行うとき、前記第1フィルタ部に関する光周波数軸方向への平行移動の状態が可変範囲の中央付近に対応した状態となるように、前記第1フィルタ部の位相を制御することを特徴とする可変光フィルタ。

4. クレーム1に記載の可変光フィルタであって、

前記制御部は、前記第1フィルタ部のフィルタ特性が光周波数に対して平坦であって最大の透過率が得られる透過状態にあり、前記第2フィルタ部のフィルタ特性によって全体のフィルタ特性が決まる状態にあるとき、前記第2フィルタ部に関する光周波数軸方向への平行移動の状態が可変範囲の境界に達する以前に、前記第1および第2フィルタ部を組み合わせた全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、前記第1フィルタ部の透過率の振幅を連続的に減少させ、かつ、第2フィルタ部の透過率の振幅を連続的に増大させて、第2フィルタ部から第1フィルタ部への切り替えを行い、続けて、第2フィルタ部に関する光周波数軸方向への平行移動の状態が可変範囲の中央付近に対応した状態となるように前記第2フィルタ部の位相を制御した後、前記第1および第2フィルタ部を組み合わせた全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、前記第1フィルタ部の透過率の振幅を連続的に増大させ、かつ、第2フィルタ部の透過率の振幅を連続的に減少させて、第1フィルタ部から第2フィルタ部への切り替えを行うことを特徴とする可変光フィルタ。

5. クレーム1に記載の可変光フィルタであって、

前記第1および第2フィルタ部で生じる損失を補償するための光増幅部を備えたことを特徴とする可変光フィルタ。

6. クレーム5に記載の可変光フィルタであって、

前記光増幅部は、前記第1および第2フィルタ部の間に配置されたことを特徴とする可変光フィルタ。

7. クレーム1に記載の可変光フィルタであって、

前記第1および第2フィルタ部は、それぞれ、互いに周期の異なる複数の周期フィルタを直列に接続した構成であることを特徴とする可変光フィルタ。

8. クレーム1に記載の可変光フィルタであって、

前記第1および第2フィルタ部は、それぞれ、マッハツェンダ干渉計型フィルタを含むことを特徴とする可変光フィルタ。

9. 光伝送路上に配置された光増幅器により波長多重信号光を一括して増幅すると共に、該波長多重信号光に発生するチルトを少なくとも1つの利得等化器により補償して中継伝送する光伝送システムであって、

前記利得等化器が、クレーム1に記載の可変光フィルタを含むことを特徴とする光伝送システム。

10. クレーム9に記載の光伝送システムであって、

前記可変光フィルタは、前記第1および第2フィルタ部が異なる中継区間に配置されたことを特徴とする光伝送システム。

11. 透過率が光周波数軸上で周期的に変化するフィルタ特性を備えた可変光フィルタの制御方法であって、

互いに直列に接続され、透過率が光周波数軸上で周期的に変化するフィルタ特性をそれぞれ有し、該フィルタ特性の透過率が可変であると共に、前記フィルタ特性を光周波数軸方向に平行移動させることが可能であり、かつ、共通な光周波数軸方向の可変範囲について同一のフィルタ特性を設定することが可能な第1および第2フィルタ部の一方について、光周波数軸方向の可変範囲を超えてフィルタ特性を平行移動させる必要が生じたとき、前記第1および第2フィルタ部を組み合わせた全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、一方のフィルタ部から他方のフィルタ部への切り替えが行われるように、前記第1および第2フィルタ部の各フィルタ特性を相対的に制御することを特徴とする可変光フィルタの制御方法。

12. クレーム11に記載の可変光フィルタの制御方法であって、

前記第1フィルタ部のフィルタ特性が光周波数に対して平坦であって最大の透過率が得られる透過状態にあり、前記第2フィルタ部のフィルタ特性によって全

体のフィルタ特性が決まる状態にあるとき、前記第2フィルタ部に関する光周波数軸方向への平行移動の状態が可変範囲の境界に達する以前に、前記第1および第2フィルタ部を組み合わせた全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、前記第1フィルタ部の透過率の振幅を連続的に減少させ、かつ、第2フィルタ部の透過率の振幅を連続的に増大させることで、第2フィルタ部から第1フィルタ部への切り替えを行うことを特徴とする可変光フィルタの制御方法。

【開示の要約】

本発明は、光強度の実質的な変動を伴うことなく、周期的なフィルタ特性を光周波数軸方向に広範囲に亘って平行移動することのできる可変光フィルタを提供することを目的とする。このため本可変光フィルタは、光路を介して直列に接続された第1、第2フィルタ部と、各々の周期的なフィルタ特性を制御する制御部とを備えて構成され、制御部は、第1、第2フィルタ部の一方について、光周波数軸方向の可変範囲を超えてフィルタ特性を平行移動させる必要が生じたとき、可変光フィルタ全体のフィルタ特性が一定となることを条件として、一方のフィルタ部から他方のフィルタ部への切り替えが行われるように、第1、第2フィルタ部の各フィルタ特性を相対的に制御する。